

Nina Immonen

# EMC-huoneen oven avauksen vaikutus signaalin voimakkuuteen lähiympäristössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Insinöörityö  
23.9.2013

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Nina Immonen EMC-huoneen oven avauksen vaikutus signaalin voimakkuu- teen lähiympäristössä 34 sivua 23.9.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tietoliikennetekniikka
Ohjaaja	yliopettaja Ville Jääskeläinen
<p>Metropolia Ammattikorkeakoulu sai keväällä 2012 Nokia Siemens Networksilta laitteet LTE-laboratorion rakentamiseksi. LTE-laboratoriossa tullaan toimimaan luvanvaraisella 2,6 GHz:n taajuudella, johon Metropolialla ei varsinaisesti ole oikeutta. Metropolia teki Elisa Oyj:n kanssa sopimuksen, jonka mukaan Metropolia saa käyttää 2,6 GHz:n taajuutta ope- tuksessa sillä ehdolla, että se ei häiritse Elisan LTE-verkkoa.</p> <p>Insinöörityön aiheena on tutkia, häiritseekö Metropolian LTE-laboratorion signaali Elisan LTE-verkkoa. Työn alkuvaiheessa keväällä 2012 LTE-järjestelmän radio-osat oli tarkoitus sijoittaa EMC-huoneeseen, jotta signaali ei vuotaisi huoneen ulkopuolelle. Opetuskäytössä huoneen ovea tullaan kuitenkin avaamaan, jolloin signaali saattaa kuulua rakennuksen ulkopuolelle. Signaali saattaa aiheuttaa häiriöitä, jos sen teho ulkona on yli kohinatason. Työssä esitellään LTE-tekniikka pintapuolisesti ja verrataan sitä 2G- ja 3G-tekniikoihin. Signaalin etenemiseen vaikuttavat tekijät on myös esitelty omassa luvussaan. Lopuksi esi- tellään mittaukset, tulokset ja johtopäätökset.</p> <p>Mittaukset suoritettiin WLAN-verkkojen analysointiin ja suunnitteluun tarkoitetulla Ekahau Site Survey -ohjelmalla. EMC-huoneen oven ollessa kiinni signaali ei vuotanut ulkopuolelle. Avoimesta ovesta signaali kuului ulos asti ja oli siellä niin vahva, että se olisi häirinnyt Eli- san verkossa toimivaa LTE-laitetta. Elisan tukiaseman suuntaan ei aiheutunut häiriöitä. Nykyään valmiissa LTE-laboratoriossa lähetyssignaali on vaimennettu kokonaan, joten se ei häiritse Elisan LTE-verkkoa.</p>	
Avainsanat	LTE, OFDM

Author(s) Title Number of Pages Date	Nina Immonen What is the impact for surrounding area and in signal strenght if EMC-room door is open 34 pages 23 September 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information Technology
Specialisation option	Telecommunications
Instructor(s)	Ville Jääskeläinen, Principal Lecturer
<p>In spring 2012 Metropolia University of Applied Sciences got equipment from Nokia Siemens Networks to build a LTE-laboratory. To be able to work properly, the LTE-laboratory needs to use 2.6GHz frequency which cannot be used without permission. Metropolia and Elisa Oyj made an agreement that Metropolia could use 2.6GHz frequency for educational purposes if it does not cause interference in Elisa's LTE-network.</p> <p>The aim of this study was to research the impact of Metropolia's LTE-laboratory to Elisa's network. At the beginning of this study in spring 2012 the radio parts of the LTE-system were supposed to be placed in the EMC-room because the signal is not allowed to be too strong outside. If the EMC-room door is left open the signal can leak outside and interfere with Elisa's network, especially if the signal is above the general noise floor.</p> <p>Measurements were done with Ekahau Site Survey program which is a tool for wireless network planning and troubleshooting. The EMC-room kept the signal inside when the door was closed. With the door open, the signal outside was above the general noise floor and was able to interfere with devices in Elisa's network. The signal did not cause any interference to Elisa's base station. Today Metropolia's LTE-laboratory is in use but the signal is fully attenuated so it cannot cause any interference to Elisa's network.</p>	
Keywords	LTE, OFDM

# Sisälllys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	LTE	3
2.1	OFDM	4
2.2	LTE:n tehotasot ja kohina	6
2.3	LTE:n spektritehokkuus	7
2.4	LTE Suomessa	9
3	Radioaaltojen eteneminen	12
3.1	Vapaan tilan vaimennus	12
3.2	Esteet ja vaimeneminen	14
3.3	Heijastuminen ja monitie-eteneminen	14
4	Mittaukset	18
4.1	Ekahau Site Survey (ESS)	18
4.2	Lähtötilanne	19
4.3	Toteutus	24
5	Tulokset	27
5.1	Ovi kiinni	27
5.2	Ovi auki	28
6	Johtopäätökset	31
	Lähteet	34

## Lyhenteet

b	Bitti. Pienin mahdollinen informaation yksikkö. Bitillä on kaksi mahdollista arvoa, joita kuvaavat yleensä ykkönen ja nolla.
B	Tavu. Yhdessä tavussa on kahdeksan bittiä.
BPSK	Binary Phase Shift Keying. Modulaatiotekniikka, jossa on kaksi tilaa 1 ja 0. BPSK:lla voidaan siirtää yksi bitti yhdessä symbolissa.
CLM1	Closed Loop MIMO. Nimitystä käytetään MIMO-järjestelmästä, jossa on kaksi lähetysantennia ja kaksi vastaanottoantennia.
HSPDA	High Speed Downlink Packet Access. 3G-verkkon nopeutta parantava tekniikka.
kbps	Kilobittiä sekunnissa. Tiedonsiirtonopeuden yksikkö.
LTE	Long Term Evolution. Neljännen sukupolven matkapuhelinverkkotekniikka.
MIMO	Multiple Input Multiple Output. Nimitystä käytetään järjestelmälle, jossa on kaksi tai useampia antennia lähetyksessä ja vastaanotossa.
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing. Tiedonsiirrossa käytettävä tekniikka, jossa kaista jaetaan useisiin toisistaan riippumattomiin alikanta-aaltoihin.
QAM16	Quadrature Amplitude Modulation. Modulaatiotekniikka, jossa informaatio on sekä vaiheessa, että amplitudissa. QAM:n avulla voidaan siirtää useita bittejä yhdessä symbolissa. QAM 16 siirtää 4 bittiä yhdessä symbolissa.
SIMO	Single Input Multiple Output. Nimitystä käytetään järjestelmälle, jossa on yksi antenni lähetyksessä ja kaksi tai useampia antennia vastaanotossa.

SISO	Single Input Single Output. Nimitystä käytetään järjestelmälle, jossa on yksi antenni lähetyksessä ja yksi antenni vastaanotossa.
SNIR	Signal to Interference plus Noise Ratio. Ilmoittaa signaalin tehon suhteessa häiriön ja kohinan tehoon.
SNR	Signal to Noise Ratio. Ilmoittaa signaalin tehon suhteessa kohinaan.
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access. Matkapuhelinverkossa käytettävä siirtotekniikka, jossa kaista on leveä ja siirrettävä tieto sotketaan koodin avulla lähetettävään signaaliin.
3GPP	Matkapuhelinjärjestelmien kehityksestä vastaava järjestö. 3GPP:ssä ovat mukana Euroopan, Yhdysvaltojen, Kiinan, Japanin ja Korean standardointijärjestöt.
3G	Kolmannen sukupolven matkapuhelinverkkotekniikka.

# 1 Johdanto

Metropolia Ammattikorkeakoulu sai Nokia Siemens Networksilta tarvittavat laitteet LTE-laboratorion rakentamiseksi keväällä 2012. LTE on lyhenne sanoista Long Term Evolution, joka on neljännen sukupolven (4G) matkapuhelinverkkotekniikka. Laboratorion toiminta edellyttää luvanvaraisen 2,6 GHz:n taajuuden käyttöä, johon Metropolia Ammattikorkeakoululla ei ole oikeutta. Metropolia teki Elisan Oyj:n kanssa sopimuksen, jonka mukaan Metropolia saa käyttää luvanvaraista 2,6 GHz:n taajuutta opetuskäytössä sillä ehdolla, ettei se häiritse millään tavalla Elisan 4G-verkon toimintaa. Laboratoriossa käytettävä signaali ei saa olla opetustilojen ulkopuolella niin vahva, että se häiritäisi lähistöllä toimivaa Elisan tukiasemaa.

Metropolian LTE-laboratorion radio-osat oli laboratorion suunnitteluvaiheessa keväällä 2012 tarkoitus sijoittaa EMC-huoneeseen (Emission Control Room), jotta signaali vuotaisi mahdollisimman vähän ulkopuolelle. EMC-huoneen oven ollessa kiinni signaali ei vuoda minnekään, sillä huone on tehty eristämään. Opetuskäytössä huoneen ovea tullessaan avaamaan, ja ovi saattaa vahingossa jäädä auki. EMC-huoneen oven ollessa auki saattaa syntyä tilanne, jossa laboratorion signaali vuotaa liikaa rakennuksen ulkopuolelle. Radio-osien ollessa päällä ja oven ollessa auki signaali pääsee vuotamaan ulkopuolelle, jolloin se saattaa aiheuttaa häiriöitä Elisan 4G-verkossa. Metropolian on pidettävä huolta siitä, että laboratoriossa käytettävä signaali ei vuoda liikaa ulkopuolelle.

Tämän työn tarkoituksena on selvittää, kuinka paljon laboratorion karkaava signaali vuotaa ulkopuolelle EMC-huoneen oven ollessa auki. Tehtävänä on mitata signaalin voimakkuutta ulkona ja sisällä sekä laskea, onko signaalin tehotaso normaalin kohinatasen alapuolella. Jos signaalin tehotaso jää ulkona kohinatasen alapuolelle, ei laboratorion vuotava signaali häiritse Elisan verkkoa millään tavalla. Jos vuotavan signaalin teho on ulkona reilusti yli kohinatasen, täytyy LTE-laitteiden radio-osat sammuttaa EMC-huoneen oven ollessa auki. Oveen voitaisiin kehittää järjestelmä, joka sammuttaa radio-osat heti, kun ovi avataan, ja laittaa ne takaisin päälle, kun ovi suljetaan. Tarkoituksena on vastata kysymykseen, täytyykö radio-osat sammuttaa EMC-huoneen oven ollessa auki.

Työssä esitellään LTE-tekniikka pintapuolisesti ja käydään läpi, kuinka OFDM-tekniikka mahdollistaa yhä suuremman siirtokapasiteetin siirtokaistan pysyessä samana. LTE:n rinnalla esitellään myös vanhempia 2G- ja 3G-tekniikoita. Näin saadaan parempi kuva siitä, kuinka hyödyllinen ja tehokas LTE-tekniikka on. LTE-verkot kehittyvät kaiken aikaa ja työssä on otettu selvää, missä vaiheessa kehitys on Suomessa. Vertailuun on otettu kolme suurinta operaattoria: Elisa, Sonera ja DNA.

Työn kannalta on myös oleellista ymmärtää, kuinka radiosignaalit käyttäytyvät ja mitkä asiat vaikuttavat niiden etenemiseen. Heijastuminen, vaimeneminen ja monitie-eteneminen vaikuttavat kaikki EMC-huoneesta lähetettävään signaaliin, joten ilmiöt on esitelty tässä työssä.

Viimeisenä esitellään mittaustulokset ja johtopäätökset. Mittaukset tehtiin Ekahau Site Survey -ohjelmalla, joka on tarkoitettu WLAN-verkkojen analysointiin ja suunnitteluun. Ohjelma sopi mittauksiin hyvin, koska WLAN-taajuus 2,4 GHz on tarpeeksi lähellä LTE:n käyttämää 2,6 GHz:n taajuutta. Mittaukset suoritettiin asettamalla WLAN-tukiasema EMC-huoneeseen, jonka jälkeen mitattiin Ekahau Site Survey -ohjelman avulla signaalin voimakkuutta lähiympäristössä huoneen oven ollessa auki ja kiinni. Tämän jälkeen saatiin selville, kuinka vahva signaali on rakennuksen ulkopuolella ja jäikö tehotaso tarpeeksi alhaiseksi. Lopuksi vastataan kysymykseen, täytyykö LTE-laboratorion radio-osat sammuttaa EMC-huoneen oven ollessa auki.



## 2 LTE

Matkapuhelimet ovat kehittyneet viime vuosina huimaa vauhtia. Puhelimen käytön ja palveluiden monipuolistuessa matkapuhelinverkkoon kohdistuu yhä enemmän kuormitusta, joten palvelun laadun takaamiseksi on kehitettävä myös matkapuhelinverkkoa.

GSM-tekniikka on toisen sukupolven (2G) tekniikka, joka soveltuu hyvin puheen siirtoon. Matkapuhelimien yleistyessä 90-luvulla tärkeintä oli siirtää puhetta ja tekstiviestejä, ja GSM:n tarjoama kapasiteetti riitti siihen hyvin. Matkapuhelimet kehittyivät nopeasti, ja uusien ominaisuuksien takia matkapuhelinverkkoon kohdistui yhä suurempaa kuormitusta. Kameran tultua puhelimen ominaisuuksiin puheen ja tekstin lisäksi haluttiin siirtää myös kuvia ja videoita. GSM-verkon kapasiteetti ei ollut enää riittävä, joten matkapuhelinverkkoa oli kehitettävä.

GSM-tekniikasta siirryttiin kolmannen sukupolven (3G) tekniikkaan, joka mahdollisti suuremman siirtokapasiteetin kuin GSM:ssä. Uudet matkapuhelimet tukivat kumpaakin tekniikkaa, ja verkot toimivat rinnakkain. 3G:n myötä käyttäjille taattiin suurempi siirtokapasiteetti, joka mahdollisti esimerkiksi videopuhelut.

3G:n avulla saatiin kasvatettua siirtonopeutta ja turvattua tarvittava kapasiteetti, mutta vain hetkeksi. Kapasiteetin tarve kasvoi koko ajan palveluiden ja laitteiden kehittyessä. Langattomilla laitteilla haluttiin katsoa esimerkiksi videoita ja reaaliaikaista tv-kuvaa, mitä 3G-verkko ei voinut luotettavasti kaikille käyttäjille tarjota. Kehitettiin täysin uusi tekniikka LTE (Long Term Evolution), joka mahdollistaa yhä nopeammat yhteydet ja suuremman siirtokapasiteetin.

3GPP aloitti LTE:n kehityksen Kanadassa Torontossa syksyllä 2004 release 8:n yhteydessä. Avoimessa työpajassa oli tarkoitus kehittää 3G-verkkoa yhteisvoimin. Mukana oli valmistajia, operaattoreita ja kehittäjiä ympäri maailman. He asettivat seuraavat tavoitteet uudelle tekniikalle [1]:

- enemmän palveluita pienemmillä kustannuksilla ja paremmilla käyttäjäkokemuksilla
- toimii joustavasti nykyisillä ja uusilla taajuuksilla

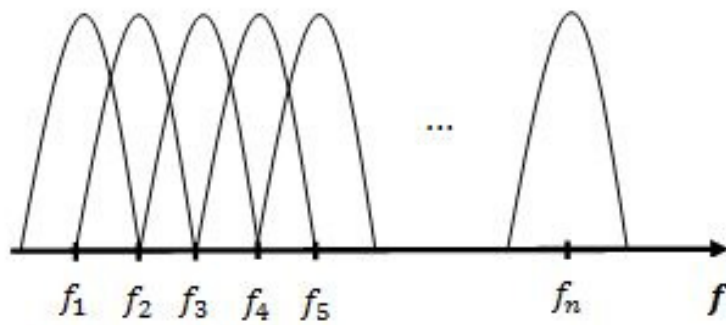
- yksinkertainen arkkitehtuuri
- toimii pienillä tehoilla.

Tämän jälkeen alkoi selvitystyö, jossa etsittiin konkreettisia asioita, joilla saadaan yllä olevat kohdat toteutumaan. Selvitystyö saatiin valmiiksi keväällä 2006, ja tulokset olivat seuraavat [1]:

- maksimibittinopeus alasuuntaan 100 Mb/s 20 MHz:n kaistalla ja yläsuuntaan 50 Mb/s 20 MHz:n kaistalla
- toimii monilla eri kaistanleveyksillä niin ylä- kuin alasuunnassa
- maksimiviive 100 ms
- yhden solun tulee palvella ainakin 200 käyttäjää 5 MHz:n kaistalla ja yhden solun tulisi peittää vähintään viisi neliökilometriä
- kuormitetussa verkossa spektritehokkuus on 3-4 kertaa parempi kuin Release 6:ssa
- toimii yhdessä 2G- ja 3G-tekniikoiden kanssa
- MIMO-mahdollisuus.

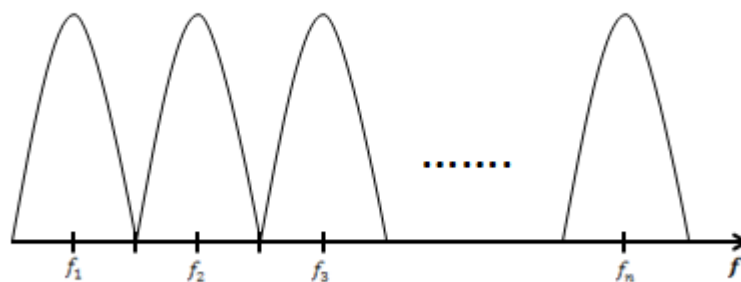
## 2.1 OFDM

LTE perustuu koko siirtokaistan tehokkaaseen käyttöön. LTE:ssä käytettävissä oleva siirtokaista jaetaan alikantaaaltoihin OFDM-tekniikan avulla (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). OFDM-tekniikkaa on aikaisemmin hyödynnetty kantataajuisessa tiedonsiirrossa, mutta nyt sitä on sovellettu myös langattomassa tiedonsiirrossa. Kuvassa 1 näkyy, kuinka käytettävä siirtokaista jaetaan alikantaaaltoihin. Alikantaaallot ovat toisistaan riippumattomia, eivätkä ne häiritse toisiaan, vaikka taajuuserot ovat hyvin pieniä. Tämä johtuu siitä, että viereiset kanavat ovat nollassa juuri silloin, kun keskimäinen kanava on maksimissaan.



Kuva 1. Siirtokaistan jakaminen alikantaaaltoihin OFDM-tekniikan avulla.

Yksi 20 MHz:n siirtokaista voidaan jakaa jopa tuhansiin alikantaaaltoihin ja jokaista alikantaaaltoa voidaan moduloida erikseen. OFDM:n etu on erityisesti siirtokaistan tehokas käyttö. Siirtokaistan jakaminen alikanaviin ei ole epätavallista, mutta OFDM:ssä kanavat ovat mahdollisimman lähekkäin toisiaan. Kuvista 1 ja 2 nähdään, kuinka OFDM eroaa muista tekniikoista jaettaessa siirtokaista alikantaaaltoihin. Kuvassa 2 siirtokaista on jaettu alikantaaaltoihin, mutta väljemmin kuin OFDM:ssä. OFDM:ssä kaistan voi jakaa puolet tehokkaammin kuin vanhemmissa tekniikoissa, sillä alikantaaaltoja voidaan luoda kaksi kertaa enemmän. Alikantaaaltojen ei tarvitse olla täysin erillään toisistaan. Riittää että viereinen kanava on nollassa juuri sillä hetkellä, kun toinen on maksimissaan.



Kuva 2. Siirtokaistan jakaminen alikantaaaltoihin ilman OFDM-tekniikkaa.

Alikantoaaltojen etenemisolosuhteita seurataan lähettämällä tunnettuja pilottisignaaleja sopivin välein. Näin tiedetään, mitkä taajuudet toimivat tietyllä hetkellä hyvin ja mitkä huonosti. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että jokaiselle käyttäjälle voidaan jakaa juuri ne alikantaaallot, jotka toimivat parhaiten kyseisellä hetkellä. Olosuhteita seuraamalla voidaan myös vaikuttaa bittinopeuteen, sillä hyvin toimivia taajuuksia voidaan moduloida korkeammalla modulaatiolla esimerkiksi QAM64:lla (Quadrature Amplitude Modulation). Huonoissa etenemisolosuhteissa voidaan käyttää karkeampaa modulaatiota, kuten BPSK:ta (Binary Phase Shift Keying). Näin saadaan koko siirtokaista käytettyä mahdollisimman tehokkaasti kaikissa olosuhteissa. [2.]

## 2.2 LTE:n tehotasot ja kohina

LTE-tukiaseman kohinataso yläsuuntaan (uplink) on -118,4 dBm. Tukiaseman kohinataso saadaan laskettua yleisen kohinatason kaavasta (kuva 3), jossa lämpötila on 290 K ja käytettävä kaistanleveys 360 kHz. Tukiasemalta käyttäjälle (downlink) kohinataso on -104,5 dBm 9 MHz:n kaistalla. [8; 9, s. 266–268.]

Kohinasta ei koskaan päästä eroon ja laitteet suunnitellaan yleensä siten, että ne toimivat yleisen kohinatason yläpuolella. Yleinen kohinataso  $N$  saadaan laskettua kaavasta  $N=kTB$ , jossa  $k$  on Boltzmanin vakio  $1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K,  $T$  on lämpötila (yksikkö Kelvin) ja  $B$  on käytettävä kaistanleveys. Kuvassa 3 on laskettu yleinen kohinataso 20 MHz:n kaistalle 10 Celsius-asteen lämpötilassa. Tämä asetelma vastaa käytännössä parhaiten niitä olosuhteita, jotka vallitsevat LTE-laitteiston ympäristössä. [10.]

$$N = kTB$$

$$k = 1,38 \times 10^{-23} \frac{J}{K} \quad T = 273K + 10^\circ C \quad B = 20MHz$$

$$N = \left(1,38 \times 10^{-23} \frac{J}{K}\right) \times (273K + 10^\circ C) \times \left(20 \times 10^6 \frac{1}{s}\right) = 7,8108 \times 10^{-14} \frac{J}{s}$$

$$7,8108 \times 10^{-14} \frac{J}{s} = 7,8108 \times 10^{-14} W$$

$$7,8108 \times 10^{-14} W = 7,8108 \times 10^{-11} mW = -101,073 dBm = -101 dBm$$

Kuva 3. Yleinen kohinataso.

Yleinen kohinataso 20 MHz:n kaistalla on -101 dBm. Mittaustulosten perusteella (kuva 10) ulkona kuuluva signaali jää parhaimmillaan 6 dBm ja pahimmillaan 46 dBm kohinatason yläpuolelle.

Tukiaseman suuntaan häiriöitä ei pitäisi syntyä, vaikka LTE-laboratorion signaali olisi talon kulmalla yli kohinatason. Elisan liittymällä varustettu LTE-laite on rekisteröitynyt verkkoon, jolloin se toimii vain Elisan verkossa. Vaikka kummatkin, Elisan ja Metropoli-an, tukiasemat kuulevat LTE-laitteen signaalin, vain Elisan tukiasema pystyy vastaamaan siihen. Näin ollen yläsuuntaan ei aiheudu häiriöitä, vaikka signaali olisi talon kulmalla yli kohinatason. Alasuunnassa kohinataso on -104,5 dBm. Jos LTE-laboratorion signaali ylittää ulkona alasuunnan kohinatason, saattaa siitä seurata ongelmia LTE-laitteelle. Laite kuulee samaan aikaan kummatkin tukiasemat, jolloin Elisan signaalia voi olla hankalaa tulkita. Rakennuksen kulmalla signaali saattaa häiritä satunnaista käyttäjää, mutta Elisan tukiaseman toimintaa signaali ei häiritse millään tavalla.

### 2.3 LTE:n spektritehokkuus

Teoreettista maksimikapasiteettia on käytännössä lähes mahdotonta saavuttaa ja lähelle maksimia päästään ainoastaan täydellisissä olosuhteissa. Täydellisiin olosuhteisiin päästään käytännössä vain laboratoriossa, jossa signaali on vahva, tukiasema on todella lähellä ja käyttäjällä on koko kaista käytössä tehokkaimmalla mahdollisella modulaa-

tiolla. Teoreettinen maksimikapasiteetti saadaan Shannonin kaavasta, jossa bittinopeus on kaistanleveyden ja signaali-kohinasuhteen tulo.

$$Bittinopeus(Mbps) = Kaistanleveys (Mhz) * \log_2(1 + SNR)$$

Kuva 4. Shannonin kaava. [11]

Käytännön sovelluksissa bittinopeutta ei voida suoraan laskea Shannonin kaavasta, sillä muut mahdolliset häiriöt täytyy ottaa myös huomioon. Tästä syystä maksiminopeutta laskettaessa käytetään kuvan 5 mukaista muunnettua Shannonin kaavaa.

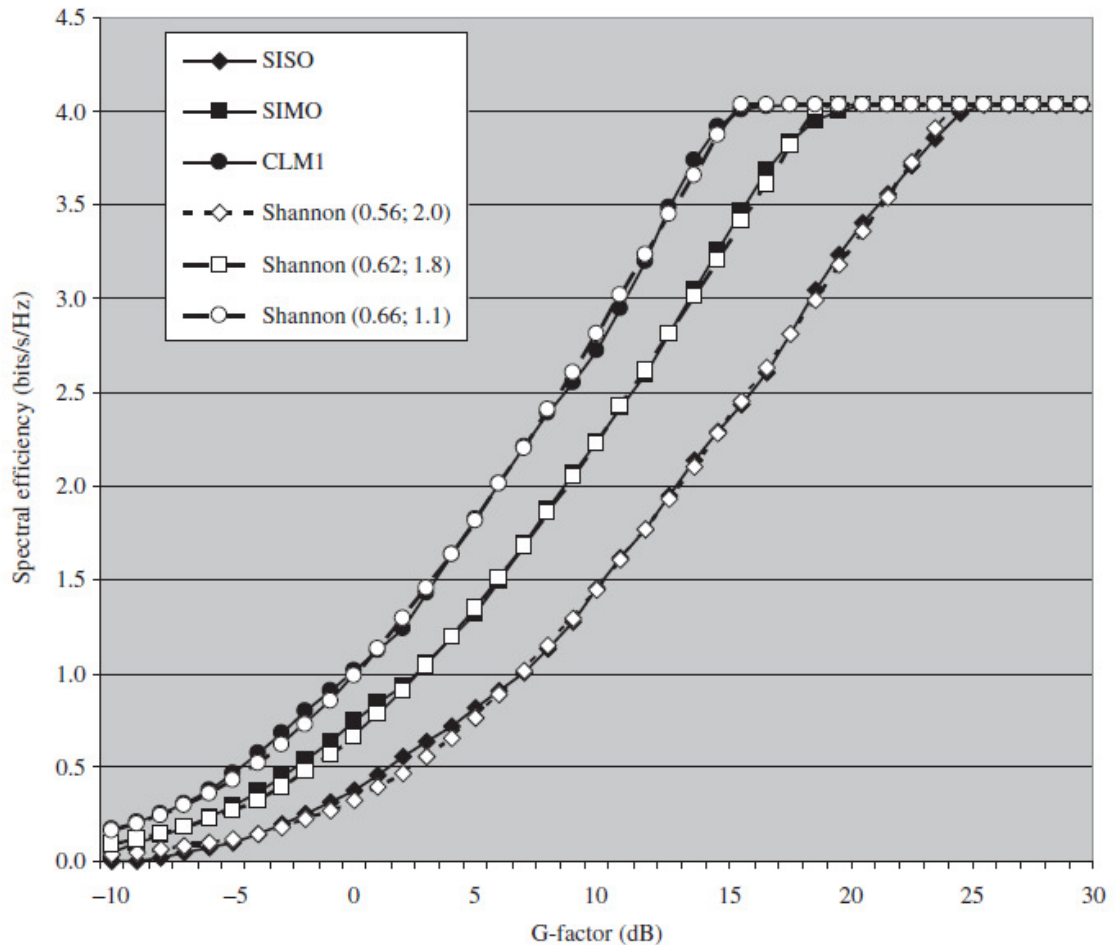
$$Bittinopeus (Mbps) = BW\_eff * Kaistanleveys (MHz) * \log_2(1 + SNR/SNR\_eff)$$

Kuva 5. Muunnettu Shannonin kaava. [9]

BW\_eff tarkoittaa koko systeemin spektritehokkuutta ja SNR\_eff ilmaisee mahdolliset muut häiriöt suhteessa normaaliin kohinaan. SNR\_eff ei ole vakio, vaan muuttuu tehon suhteen.

Kuvasta 6 nähdään LTE:n spektritehokkuus SISO (Single Input Single Output), SIMO (Single Input Multiple Output) ja CLM1 (Closed Loop MIMO) -järjestelmille. Vaaka-akselilla oleva G-factor (Geometry factor) ilmoittaa signaalin laadun ilmatiellä. G-factor on sama asia kuin SNIR (Signal to Interference plus Noise Ratio), ja se ilmaisee signaalin tehon suhteessa häiriön ja kohinan tehoon. Pelkkä SNR (Signal to Noise Ratio) ilmoittaa signaalin tehon suhteessa kohinaan, mutta SNIR ottaa kantaa myös ilmatiellä esiintyviin häiriöihin. SNIR:n, eli G-factorin avulla saadaan parempi käsitys langattoman yhteyden laadusta kuin mitä SNR:n avulla saataisiin.

G-factorin ollessa 7 dB voidaan siirtää kahden antennin välillä yksi bitti sekunnissa yhdellä hertsillä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että 20MHz:n kaistalla voidaan siirtää 20Mb sekunnissa antennista antenniin (SISO). Kuva 6 kertoo myös, mitä arvoja muunnetussa Shannonin kaavassa on käytetty BW\_eff:n ja SNR\_eff:n kohdalla. Kuvasta 6 voi havaita, että LTE-tekniikalla päästään hyvin lähelle Shannonin maksimia. [9; 13.]



Kuva 6. LTE:n spektritehokkuus. SISO-, SIMO- ja CLM1 -järjestelmät verrattuna muunnetun Shannonin kaavan maksimikapasiteettiin. [9]

## 2.4 LTE Suomessa

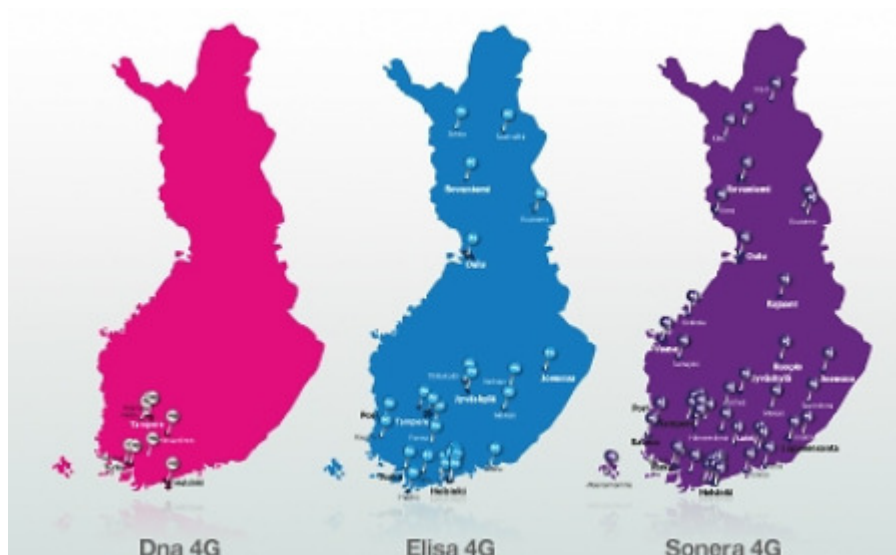
Ensimmäinen LTE-verkko otettiin koekäyttöön Turussa kesällä 2010. Soneran testaama verkko avattiin kaupalliseen käyttöön loppuvuodesta 2010 Turun keskustassa, Oulun keskustassa ja Vallilassa Helsingissä.

Tällä hetkellä Soneralla, Elisalla ja DNA:lla on toiminnassa kaupallinen LTE-verkko, jota operaattorit nimittävät 4G-verkoksi. LTE:n rinnalla operaattoreiden 4G-verkoissa toimii HSPA DC -tekniikka (High Speed Packet Access Dual Carrier), joten verkot eivät käytä pelkästään LTE:tä. HSPA DC -tekniikka on käytännössä 3G-tekniikka, joka ei perustu LTE-tekniikkaan. HSPA DC -tekniikka ei käytä OFDM-tekniikkaa, vaan siirtokapasiteettia on kasvatettu lisäämällä toinen kantaalto (Dual Carrier), jonka avulla tuplataan siirto-

kapasiteetti. Käytännössä rinnakkain toimii kaksi HSPA-tekniikalla toimivaa siirtokaistaa, jotka pohjautuvat 3G-tekniikkaan.

Esimerkiksi DNA ilmoittaa pelkän LTE-verkon maksiminopeudeksi 50Mbit/s. HSDPA DC:n avulla saavutetaan 42 Mbit/s maksiminopeus. Pelkkä HSPA ylittäisi 21 Mbit/s maksiminopeuteen. Sonera ilmoittaa LTE-verkon maksiminopeudeksi 100 Mbit/s HSDPA DC:n ollessa sama 42 Mbit/s. Nopeudet ovat teoreettisia maksiminopeuksia, ja käytännössä ne jäävät reilusti ilmoitettujen lukemien alapuolelle. [14]

Pelkkien LTE-verkkojen peittoalueet ovat Suomessa pieniä ja kattavat tällä hetkellä vain kaupunkien keskustat. Sonera on tällä hetkellä kirkaassa kärjessä kuuluvuuden suhteen. Soneralla on LTE-verkko kaikissa Suomen suurimmissa kaupungeissa ja verkko kattaa kaupunkien keskusta-alueet. Sonera on vienyt LTE:n myös Lapin turistikohteisiin Leville, Rukalle ja Ylläkselle. Elisa on kehityksessä seuraavana ja Elisan LTE-verkko kuuluu myös useissa suurimmissa kaupungeissa. DNA:n kuuluvuuskartta on heikoin, ja se kattaa alle 10 paikkakuntaa. Kuvasta 7 havaitaan 4G-verkkojen kuuluvuudet, jotka sisältävät LTE:n ja HSDPA DC:n. Tilanne ei muutu olennaisesti kun tarkasteltaessa pelkkiä LTE-verkkoja, joten kuvasta saa hyvän käsityksen tämän hetkisen tilanteesta. [5; 14; 15]



Kuva 7. Kolmen suurimman operaattorin 4G-kuuluvuuskartat. [5]



LTE-päätelaitteita on Suomessa saatavilla todella vähän verrattuna esimerkiksi Yhdysvaltoihin. Kaikki kolme operaattoria Suomessa tarjoavat LTE-yhteyksiä mikkulan kautta, sillä LTE-tekniikkaa tukevia puhelimia on markkinoilla vasta muutamia.

Taulukossa 1 on vertailtu tämän hetkisiä LTE/HSPA-yhteyksien hintoja kolmen suurimman operaattorin kesken. Vertailuun on valittu nopeimmat saatavilla olevat yhteydet.

Taulukko 1. LTE/HSPA-yhteyksien hintavertailu maksiminopeudella. [5; 14; 15]

Elisa/Saunalahti	Mobiililaajakaista 4G Super	39,80 €/kk	100 Mbit/s	Rajoittamaton
DNA	DNA Liikkuva laajakaista XXL	39,80 €/kk	100 Mbit/s	Rajoittamaton
Sonera	Liikkuva laajakaista Teho	29,90 €/kk	100 Mbit/s	30Gt siirtokatto

### 3 Radioaaltojen eteneminen

Vapaassa tilassa, kuten avaruudessa, radioaallot etenevät esteettä ja vaimenevat etäisyyden kasvaessa. Esteettömässä ympäristössä radioaaltojen etenemistä ja vaimenemista voidaan kuvata vapaan tilan vaimennuksen kaavalla (kuva 8). Radioaallot etenevät kuitenkin harvoin täysin vapaassa tilassa, sillä rakennukset, puut ja kukkulat ovat tyypillisiä esteitä maan päällä. Radioaallot kohtaavat ilmatiellä monenlaisia ilmiöitä, jotka häiritsevät signaalia ja aiheuttavat virheitä siirrettävään informaatioon.

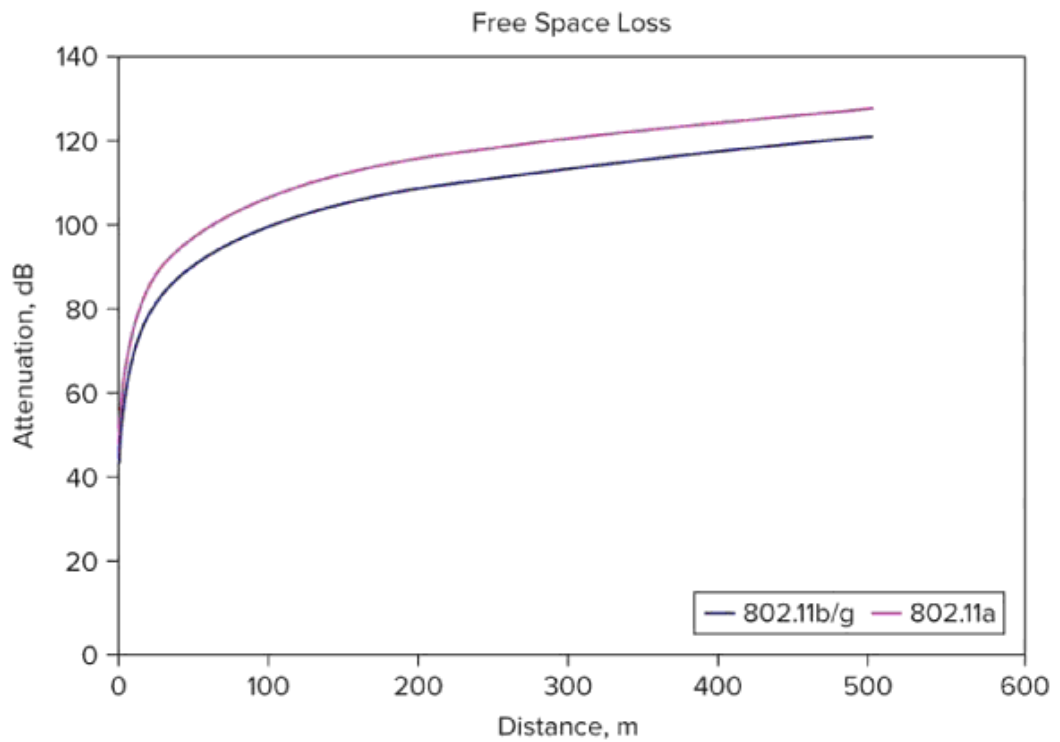
#### 3.1 Vapaan tilan vaimennus

Vaimeneminen johtuu siitä, että signaali heikkenee ja amplitudi pienenee. Lähettimen teho leviää joka suuntaan kuten pallonpinnalle, jolloin signaali heikkenee etäisyyden kasvaessa. Väliaine, etäisyys ja taajuus vaikuttavat siihen, kuinka suurta vaimeneminen on. Vapaassa tilassa kulkevalle radioaallolle voidaan laskea vaimennus kuvan 8 mukaisella kaavalla. Vapaassa tilassa kulkevan radioaallon vaimenemiseen vaikuttavat etäisyys lähettimestä ( $d$ ) ja signaalin aallonpituus ( $\lambda$ ). Etäisyyden ja aallonpituuden tulee olla samassa mittayksikössä. [10; 3.]

$$N = 10 \log_{10} \left( \frac{4\pi \times d}{\lambda} \right)^2$$

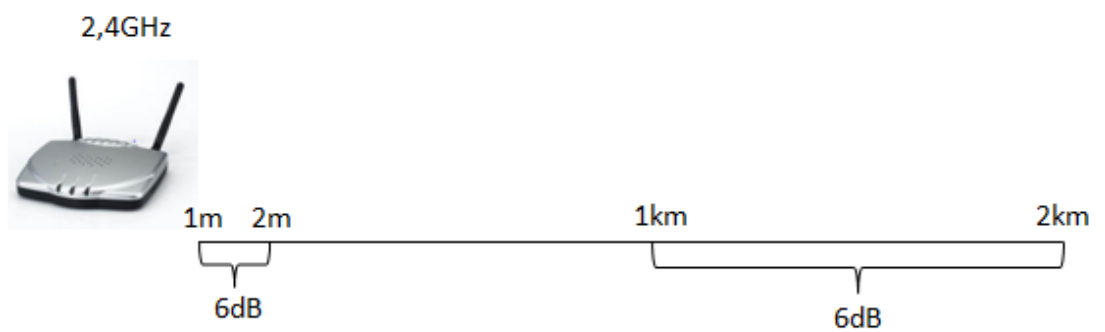
Kuva 8. Vapaan tilan vaimennus.

Kuvasta 9 nähdään vapaan tilan vaimennus ilmassa 2,4 GHz:n ja 5 GHz:n WLAN-signaaleille. 2,4 GHz:n signaali on piirretty sinisellä ja 5 GHz:n signaali lilalla. Pystyakselilla on vaimennus desibeleinä ja vaaka-akselilla etäisyys lähettimestä metreinä. Kuvasta 9 huomataan, että vaimennus on todella voimakasta lähellä lähetintä, kun taas kauempana vaimeneminen on maltillisempaa.



Kuva 9. Vapaan tilan vaimennus 2,4GHz:n ja 5GHz:n WLAN-signaaleille. [4]

Lähettimen lähellä etäisyyden muutos yhdestä metristä kahteen metriin vaimentaa signaalia 6 dB. Kauempana lähettimestä tapahtuva 6 dB:n vaimennus vastaa etäisyyden muutosta yhdestä kilometristä kahteen kilometriin (kuva 10).



Kuva 10. WLAN-signaalin vaimeneminen etäisyyden kasvaessa.

### 3.2 Esteet ja vaimeneminen

Käytännön sovelluksissa signaalit kulkevat harvoin täysin vapaassa tilassa. WLAN-signaali törmää lukuisiin esteisiin sisällä ja ulkona. Ulkona esteitä ovat esimerkiksi rakennukset, puut ja maaston erilaiset muodot. Sisällä vaimennusta aiheuttavat seinät, ovet ja ikkunat. Vapaan tilan vaimennuksen lisäksi signaali vaimenee jokaisen esteen vaikutuksesta. Kuvan 11 taulukkoon on kerätty muutamia esteitä ja niiden aiheuttamia vaimennuksia desibeleinä 2,4 GHz:n taajuudella. Arvot eivät ole absoluuttisia, vaan suuntaa antavia, koska taulukossa olevia elementtejä on monia erilaisia. Luvut ovat 3Comin suorittamasta testistä. [4]

Materiaali	Paksuus (cm)	Vaimennus (dB)
Tiili	8,9	6
Massiivipuu ovi	4,5	6
Ontto väliovi	4,5	4
Palo-ovi	6,4	19
Betoniseinä	20,0	10
Betoniseinä	46,0	18
Väliseinä	15,2	6
Kantava betoni seinä	12,7	14
Ikkuna	1,2	7
Tuplaikkuna	2,5	13

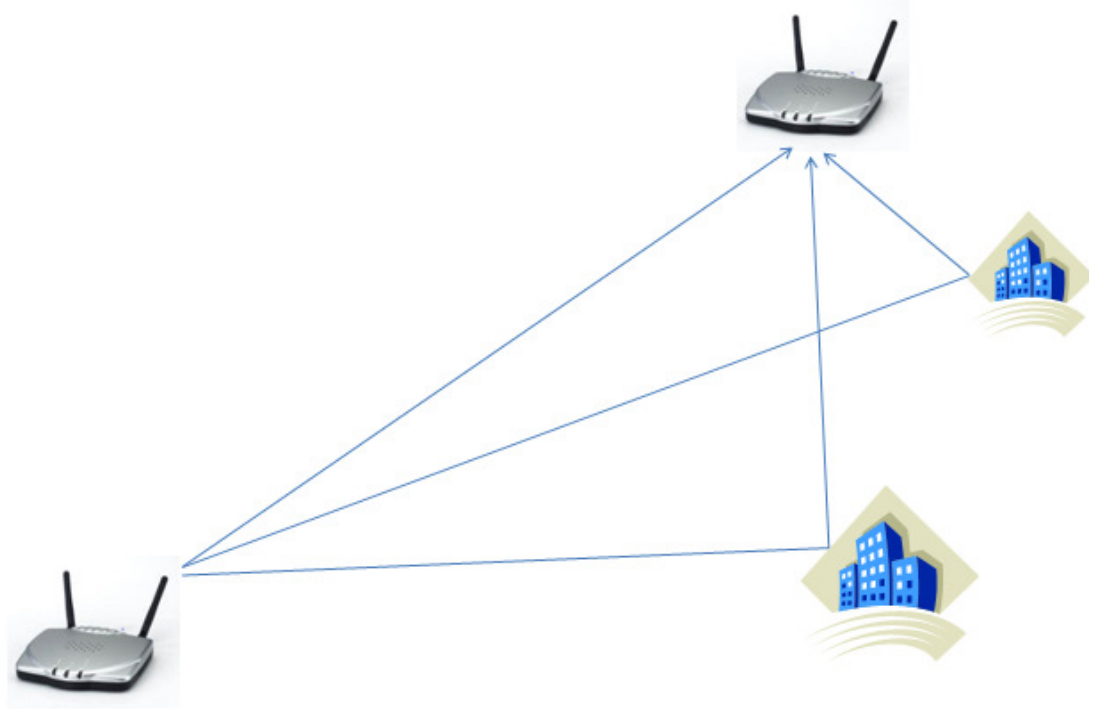
Kuva 11. Yleisimpiä rakennusmateriaaleja ja niistä aiheutuvia vaimennuksia. [4]

### 3.3 Heijastuminen ja monitie-eteneminen

Radioaallot heijastuvat osuessaan esteeseen. Este voi olla mikä tahansa sileä pinta, kuten talon seinä. Osuessaan esteeseen radioaalto heijastuu takaisin tulokulmassa ja aallonpituus ja nopeus pysyvät samana. Heijastuneet signaalit aiheuttavat ongelmia vastaanotossa, sillä heijastuneet signaalit sotkevat alkuperäistä signaalia. Vastaanotin havaitsee ensimmäisenä suoraan tulevan signaalin, jonka jälkeen vastaanotetaan myös kaikki alkuperäisen signaalin heijastukset. Heijastuneet signaalit ovat kulkeneet pidemmän matkan, eli tulevat perille myöhässä, ja aiheuttavat häiriöitä suoraan kulkeeseen signaaliin. Tätä ilmiötä kutsutaan monitie-etenemiseksi.

3G:ssä monitie-eteneminen ja siitä johtuvat symbolien vääristymiset tuottavat ongelmia, koska symbolin pituus ilmatiellä on lyhyt. Ilmatiellä signaali heijastuu erilaisista

pinnoista ja vastaanotossa perille saapuu varsinainen signaali ja kaikki sen heijastukset. Kuvasta 12 nähdään, että heijastuneet signaalit saapuvat perille myöhemmin, pidemmän matkan kulkeneina ja eri vaiheessa kuin alkuperäinen signaali, jolloin ne sotkevat suoraan kulkenutta signaalia.



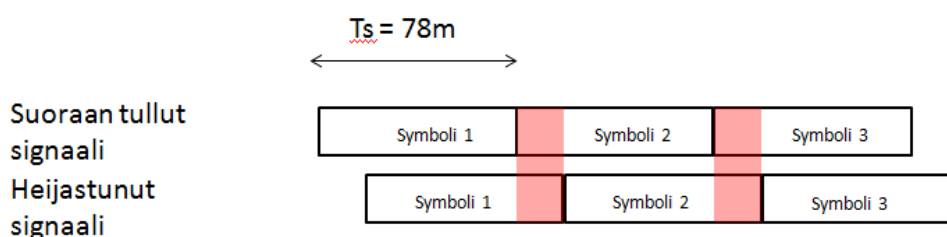
Kuva 12. Heijastuminen ja monitie-eteneminen.

Myöhemmin perille saapunut signaali sotkee alkuperäistä suoraan kulkenutta signaalia, jolloin symboleja on hankala tulkita. Tätä kutsutaan ISI-ilmiöksi (Inter Symbol Interference).

Käytettävissä olevan siirtokaistan jakaminen alikantaaaltoihin tuo paljon etuja. Heijastuksista ei koskaan päästä eroon, mutta OFDM:n avulla kaistan jakaminen alikantaaaltoihin pienentää huomattavasti monitie-etenemisestä aiheutuvia ongelmia, sillä symboli on paljon pidempi kuin 3G:ssä.

GSM- ja 3G-tekniikoissa symbolinopeus määrittää käytettävän kaistanleveyden ja symbolinopeus on samaa suuruusluokkaa kuin kaistanleveys. 3G:ssä on käytössä 5 MHz:n

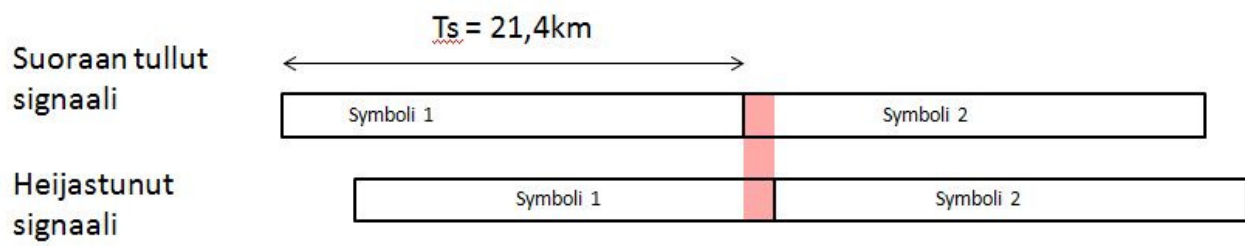
kaista, josta käytetään tiedonsiirtoon 3,84 MHz. Loput kaistasta on varattu siihen, että vierekkäiset järjestelmät eivät häiritse toisiaan. 3G:n symbolinopeus on 3,84 Msymbolia sekunnissa, eli samaa suuruusluokkaa kuin käytettävissä oleva kaistanleveys. Yksi symboli voi siirtää yhden tai useamman bitin riippuen modulaatiosta. 3G:ssä yhden symbolin kesto 3,84 MHz:n kaistalla on 0,26  $\mu$ s ja pituus 78 m. Symboli on lyhyt ja monitie-etenemisestä aiheutuneet heijastukset menevät vastaanotossa päällekkäin vierekkäisten symbolien kanssa. [12]



Kuva 13. Monitie-etenemisen vaikutus symboleihin 3G:ssä (ISI).

Kuvassa 13 näkyy, että jos symboli on lyhyt, heijastuneet versiot sotkevat vierekkäisiä symboleita. Punaississa kohdissa vastaanotettaessa alkuperäistä symbolia 2, tulee perille vielä symbolin 1 heijastuksia ja vastaanotettaessa alkuperäistä symbolia 3, tulee perille vielä symbolin 2 heijastuksia. Tulkinta on hankalaa, koska heijastunut versio häiritsee neljäsosaa koko symbolista.

Tarkastellaan samaa 5 MHz:n kaistaa LTE:ssä. OFDM:n ansiosta kaista jaetaan alikantoaaltoihin, ja jos kanava jaetaan esimerkiksi 200 alikantoaaltoon, on yhden kanavan leveys 25 kHz ja symbolinopeus 25 ksymbolia sekunnissa. Yhden symbolin kesto on 71,4  $\mu$ s ja pituus 21420 m. Edelleen lähetettävä signaali heijastuu ja perille saapuu varsinainen signaali ja useita heijastuksia, mutta symboli on pitkä, jolloin oikeintulkinta on luotettavampaa. Kuvasta 14 nähdään, että heijastukset sotkevat edelleen symbolin alkua. Nyt symboli on kuitenkin yli kaksikymmentä kilometriä pitkä, joten tulkinnan kannalta ei haittaa, vaikka alun kymmenen metriä menisi pilalle heijastusten takia.

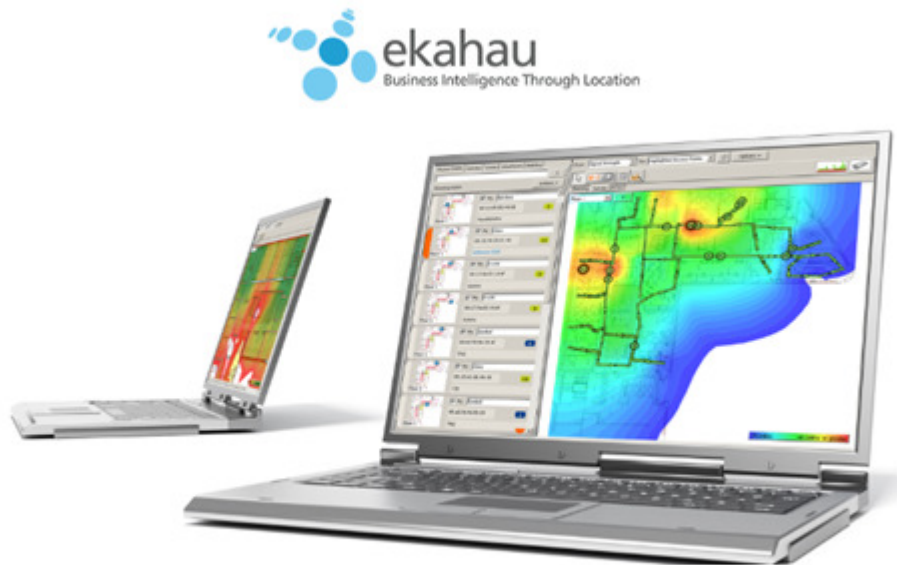


Kuva 14. Monitie-etenemisen vaikutus LTE:ssä.

## 4 Mittaukset

### 4.1 Ekahau Site Survey (ESS)

Ekahau Site Survey -ohjelma on työkalu langattomien verkkojen suunnitteluun ja analysointiin. Tietokoneeseen asennettu ohjelma tarvitsee toimiakseen langattoman usb-adapterin, jonka jälkeen mittaus voi alkaa. Tässä työssä on käytetty Ekahauta ainoastaan signaalin vahvuuden mittaamiseen, mutta ohjelmassa on paljon muitakin ominaisuuksia.



Kuva 15. Ekahau Site Survey [6]

Ekahau on hyvä työkalu jo olemassa oleville verkoille sekä uusien verkkojen suunnitteluun. Sillä voi suunnitella kokonaan uuden langattoman verkon, johon Ekahau ehdottaa tukiasemien paikat ja optimaaliset asetukset. Ekahaun avulla onnistuu myös jo olemassa olevan langattoman verkon analysointi. Ekahauilla voi seurata verkon suorituskykyä ja kapasiteettia, sekä optimoida verkkoa ja selvittää ongelmia vikatilanteissa.



## Suunnittelu

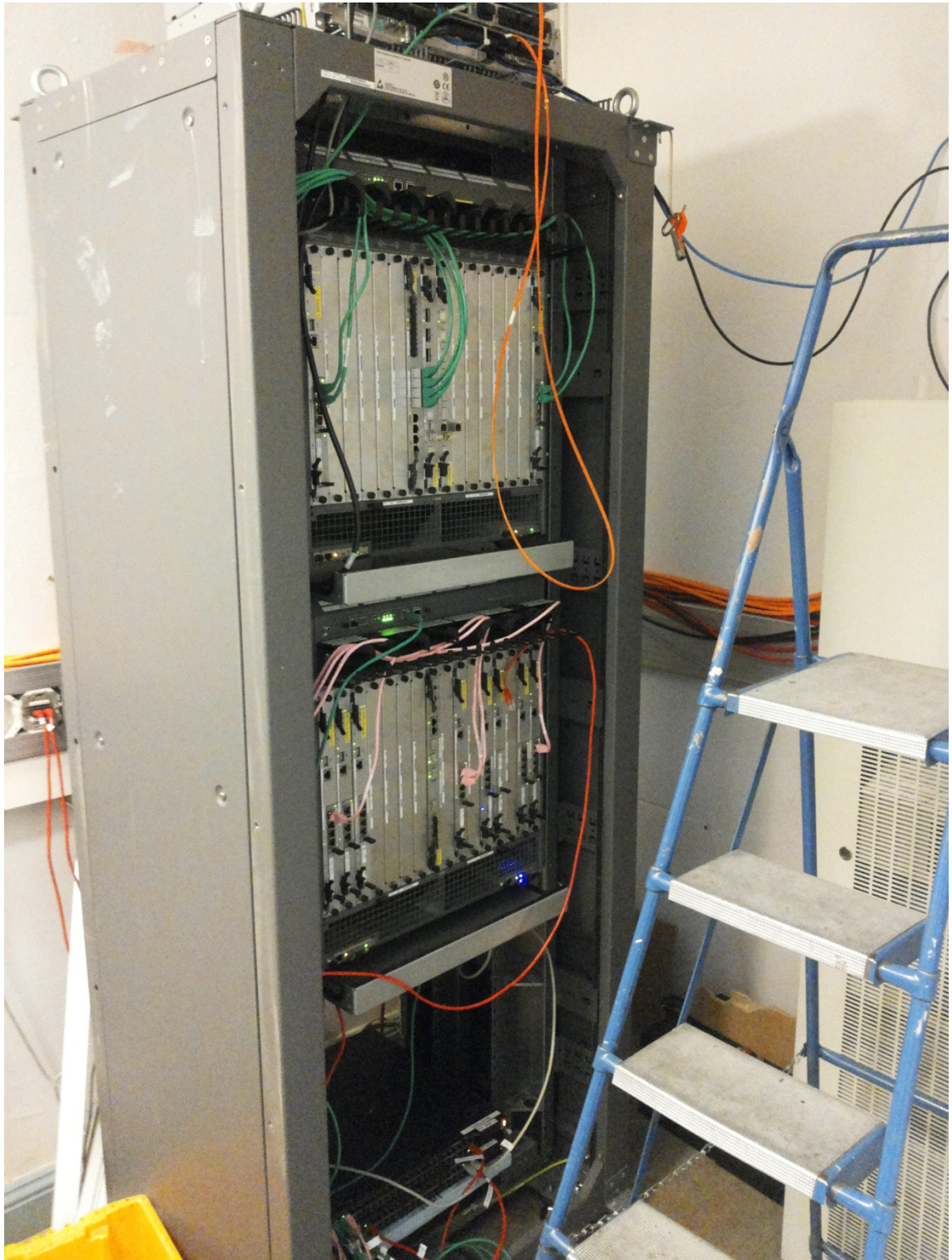
Ekahaun suunnittelutyökalu luo valmiin suunnitelman langattomalle verkolle esimerkiksi toimistoon. Suunnitelmaa varten ohjelma tarvitsee pohjapiirustuksen, jonka voi syöttää kuvatiedostona tai pdf-muodossa. Suunnittelu on mahdollista myös 3D-näkymässä, jolloin nähdään kuinka eri kerrosten signaalit vaikuttavat samalla kanavalla toimiviin tukiasemiin. Ekahau suunnittelee verkon halutulle kapasiteetille ja suorituskyvylle ja ehdottaa parhaat paikat tukiasemille. Jo pelkän pohjapiirroksen avulla voi luoda suunnitelman ja testata kuinka verkko toimii virtuaalisesti menemättä fyysisesti paikan päälle.

## Analysointi ja raportointi

Nopeat testit mittaavat yhteydet päästä päähän ja määrittävät kaikkien kuuluvien tukiasemien olinpaikat. Tämä helpottaa testausta jos testaaja ei valmiiksi tunne verkkoelementtien paikkoja. Testaaja saa tukiasemien olinpaikat selville hetkessä, ja jos ohjelmaan on asennettu pohjapiirros, tukiaseman paikantaminen on todella helppoa. Raportista ilmenee verkon suorituskyky ja mahdolliset ongelmat.

### 4.2 Lähtötilanne

Metropolia sai Nokia Siemensiltä tarvittavat laitteet LTE-laboratorion rakentamiseksi (kuva 16). Laitteet käyttävät samaa taajuutta kuin lähistöllä toimiva Elisan 4G-verkko. Metropolia teki Elisan kanssa sopimuksen, jossa Metropolia saa käyttää Elisan luvanvaraista 4G-taajuutta 2,6 GHz sillä ehdolla, että laboratoriotointa ei häiritse millään tavalla lähiympäristössä toimivaa Elisan 4G-tukiasemaa (kuva 19).



Kuva 16. Metropolian LTE-kaappi

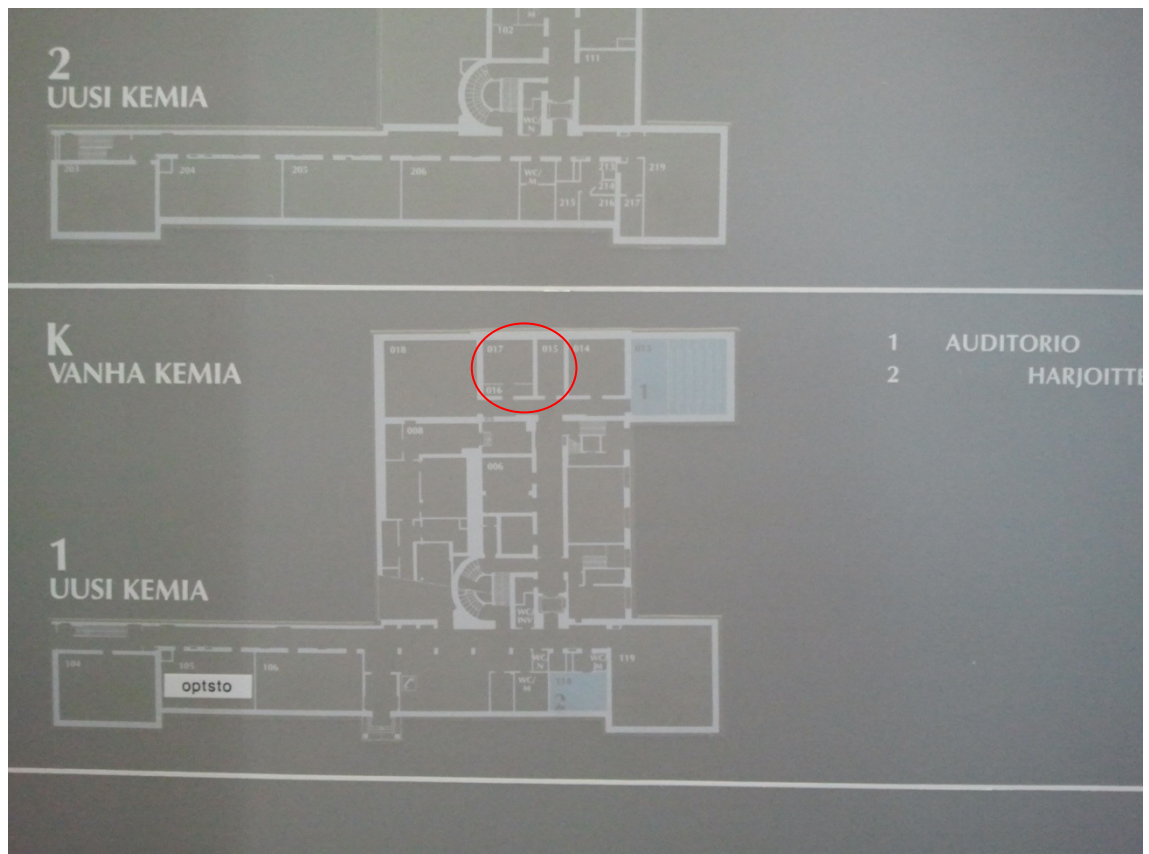
Laboratorio pystytettiin Metropolian Bulevardin toimipisteeseen uuden kemian kellariin, jossa sijaitsee myös EMC-huone (kuvat 17 ja 18). Lähiympäristössä toimii samaan aikaan Elisan 4G-tukiasema (kuva 19), joka käyttää samaa 2,6 GHz:n taajuutta. Sopi-



muksen mukaan Metropolia saa toimia samalla taajuudella, jos se ei häiritse Elisan 4G-verkon toimintaa. Laboratoriossa olevien 4G-laitteiden radio-osat on tarkoitus sijoittaa EMC-huoneeseen, jotta signaali ei pääse vuotamaan rakennuksen ulkopuolelle, eikä häiritse Elisan 4G-verkkoa.



Kuva 17. Vanhan kemian rakennus



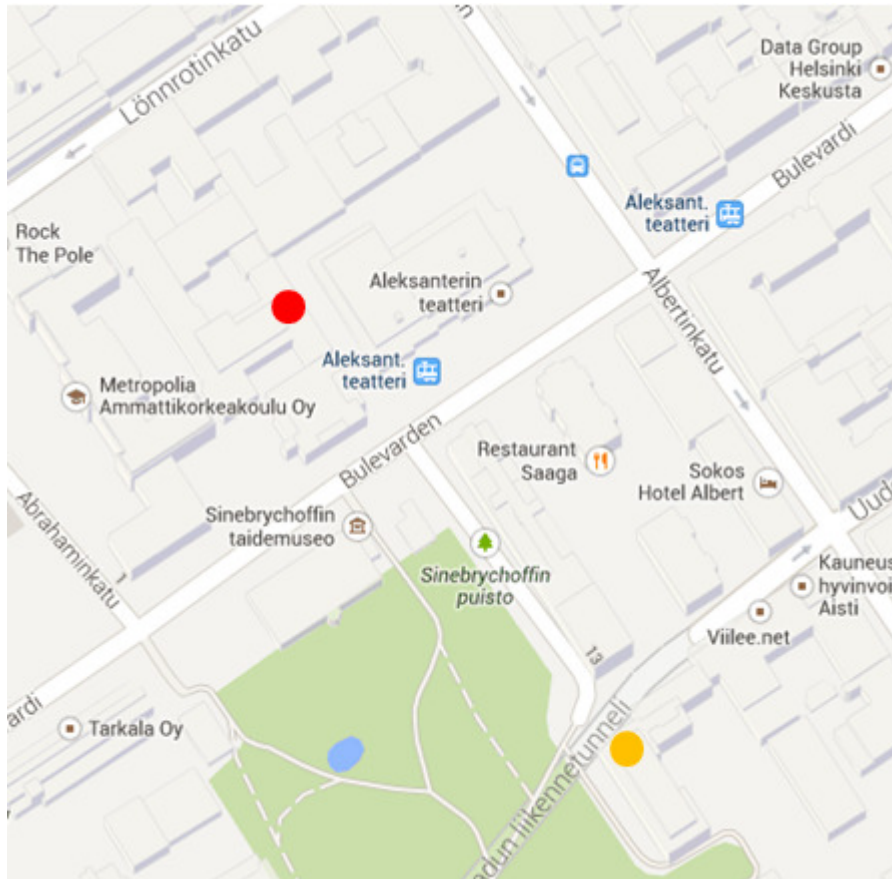
Kuva 18. Vanhan Kemian pohjapiirros. Punaisella EMC-huone.

Metropolian LTE-tukiaseman lähetysteho on 8 W. Radio-osien ollessa päällä ja EMC-huoneen oven ollessa kiinni mitään ei vuoda ulos. Käytännön opetustilanteessa huoneen ovea tullaan kuitenkin avaamaan ja on mahdollista, että ovi saattaa joskus unohdeta auki. Avonaisesta ovesta signaali pääsee vuotamaan lähiympäristöön ja saattaa heijastella jopa ulos asti. Elisan tukiasema sijaitsee noin 300 metrin päässä EMC-huoneesta (kuva 20).





Kuva 19. Elisan tukiasema talon katolla



Kuva 20. Tukiaseman ja laboratorion välinen etäisyys kartalla. Laboratorio on merkitty punaisella ja tukiasema keltaisella pallolla. [7]

Tämän työn tarkoituksena on selvittää, mitä tapahtuu, kun huoneen ovi avataan. Kar- kaako signaali liian pitkälle vai täytyykö radio-osat sammuttaa aina EMC-huoneen oven ollessa auki.

#### 4.3 Toteutus

Laboratorio toimii 2,6 GHz:n taajuudella ja 8 W:n lähetysteholla. Koululta löytyi mitta- laite WLAN-verkkojen analysointiin ja suunnitteluun, ja se sopi hyvin tähän mittauk- seen. WLAN toimii 2.4 GHz:llä, joten taajuus on samaa luokkaa kuin LTE-taajuus, ja signaalit käyttäytyvät suurin piirtein samalla tavalla. LTE-tukiaseman lähetysteho on 8 W ja WLAN-tukiaseman 100 mW. Vaikka lähetystehojen ero on suuri, signaalit kulkevat ympäristössä samalla tavalla lähetystehosta riippumatta. Suuremmalla teholla lähetetty signaali kulkee pidemmälle, mutta käyttäytyy kyseisellä taajuusalueella samalla tavalla kuin WLAN-signaali.

Mittaukset tehtiin kannettavalla tietokoneella, johon oli asennettu WLAN-verkkojen analysointi ja suunnittelutyökalu Ekahau Site Survey. Ohjelmalla voi mitata signaalin voimakkuutta eri paikoissa ja työkalu sopii hyvin liikkuviin mittauksiin. Mittauksissa käytettiin WLAN-tukiasemaa ja Ekahau Site Survey -ohjelmaa.

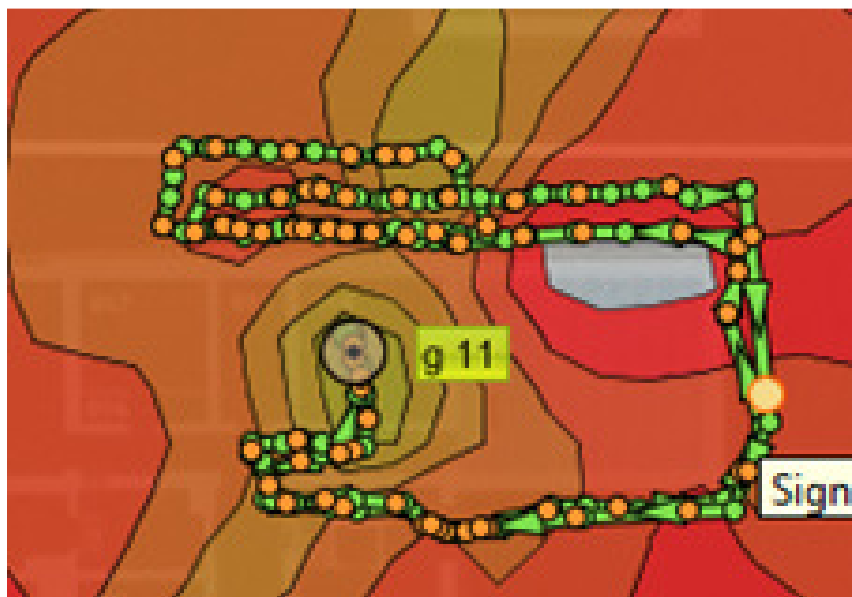
Asensin WLAN-tukiaseman keskelle EMC-huonetta (kuva 21) ja muutin verkon nimeksi ninaim, jotta tunnistan mitattavan signaalin. EMC-huone sijaitsee Metropolian Bulevardin toimipisteessä vanhan kemian kellarissa huoneessa 017, joka on ympyröity punaisella kuvassa 18.



Kuva 21. EMC-huone

Asensin Ekahau Site Survey -ohjelmaan uuden kemian kellarin pohjapiirustuksen (kuva 18), jotta pystyin määrittämään tarkemmin maantieteellisen sijainnin. Ohjelmaan voi ladata minkä tahansa pohjapiirustuksen tai kuvan pdf-muodossa. Pohjapiirustukselle täytyi antaa mittakaava, sillä gps-paikannus ei tässä tapauksessa ollut mahdollista. GPS-paikannus vaatii lisäosan, jota ei ollut tässä versiossa saatavilla.

Tämän jälkeen tarkistin, että WLAN-verkko ninaim oli pystyssä ja valitsin Ekahausta mittaustilan aktiiviseksi. Ohjelma tallettaa jokaisella klikkauksella signaalin voimakkuuden kyseisellä hetkellä. Kuljin lähiympäristössä kone sylissä ja talletin mittaustuloksia muistiin muutaman metrin välein. Kuvassa 22 näkyy mittausreitti. Jokaisen oranssin pisteen kohdalla on talletettu yksi mittaustulos. GPS-paikannuksen puuttuessa Ekahau ei kulkenut automaattisesti kartalla, vaan klikkauksen kohdalla paikasta täytyi huolehtia itse.



Kuva 22. Mittausreitti ja mittauspisteet

Ensimmäisessä mittauksessa WLAN-tukiasema oli keskellä huonetta, ja huoneen ovi oli kiinni. Toisessa mittauksessa WLAN-tukiasema oli keskellä huonetta ja huoneen ovi oli auki. Kummassakin mittauksessa käveltiin suunnilleen sama reitti sisällä ja ulkona. Signaalin voimakkuutta mitattiin muutaman metrin välein. Tavoitteena oli saada selville, kuinka pitkälle ja kuinka voimakkaana signaali kuuluu EMC-huoneen oven ollessa auki.

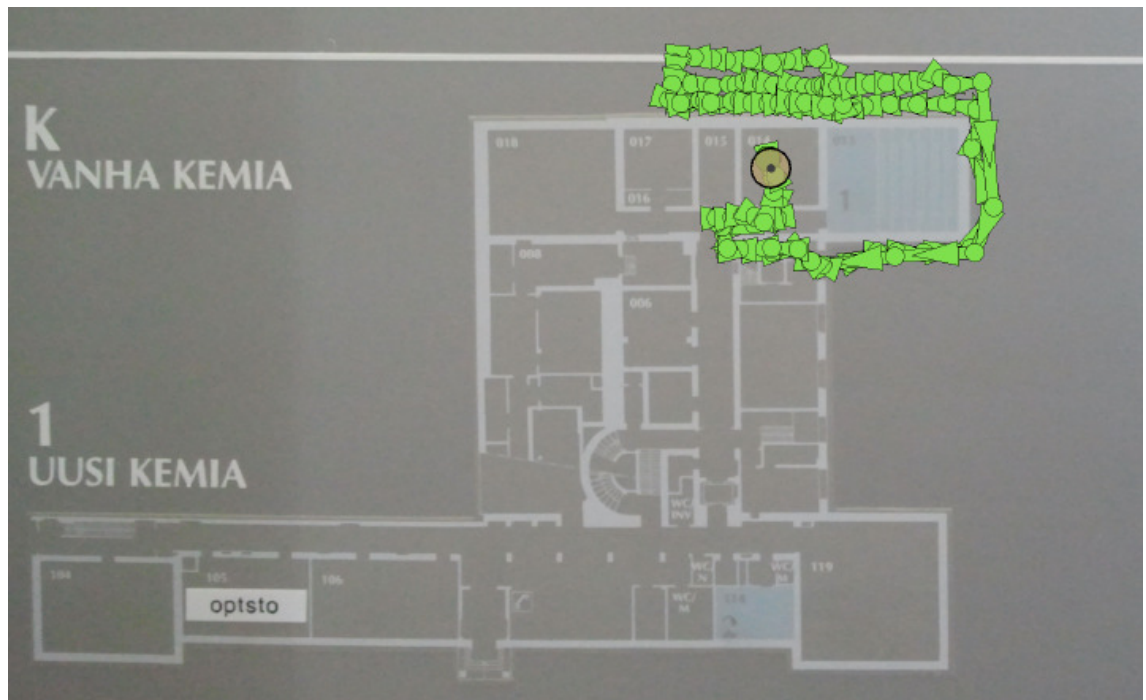


Jos signaalin voimakkuus on ulkona alle tukiaseman kohinatason, tai yleisen kohinatason tuntumassa, laboratorio ei aiheuta häiriöitä Elisan verkolle.

## 5 Tulokset

### 5.1 Ovi kiinni

WLAN-tukiasema oli asetettuna EMC-huoneen lattialle ja ovi oli suljettuna. EMC-huoneen tarkoitus on olla päästämättä mitään ulkoa sisään tai sisältä ulos ja näin kävi myös mittauksissa. Kuvasta 23 nähdään mitattu alue.

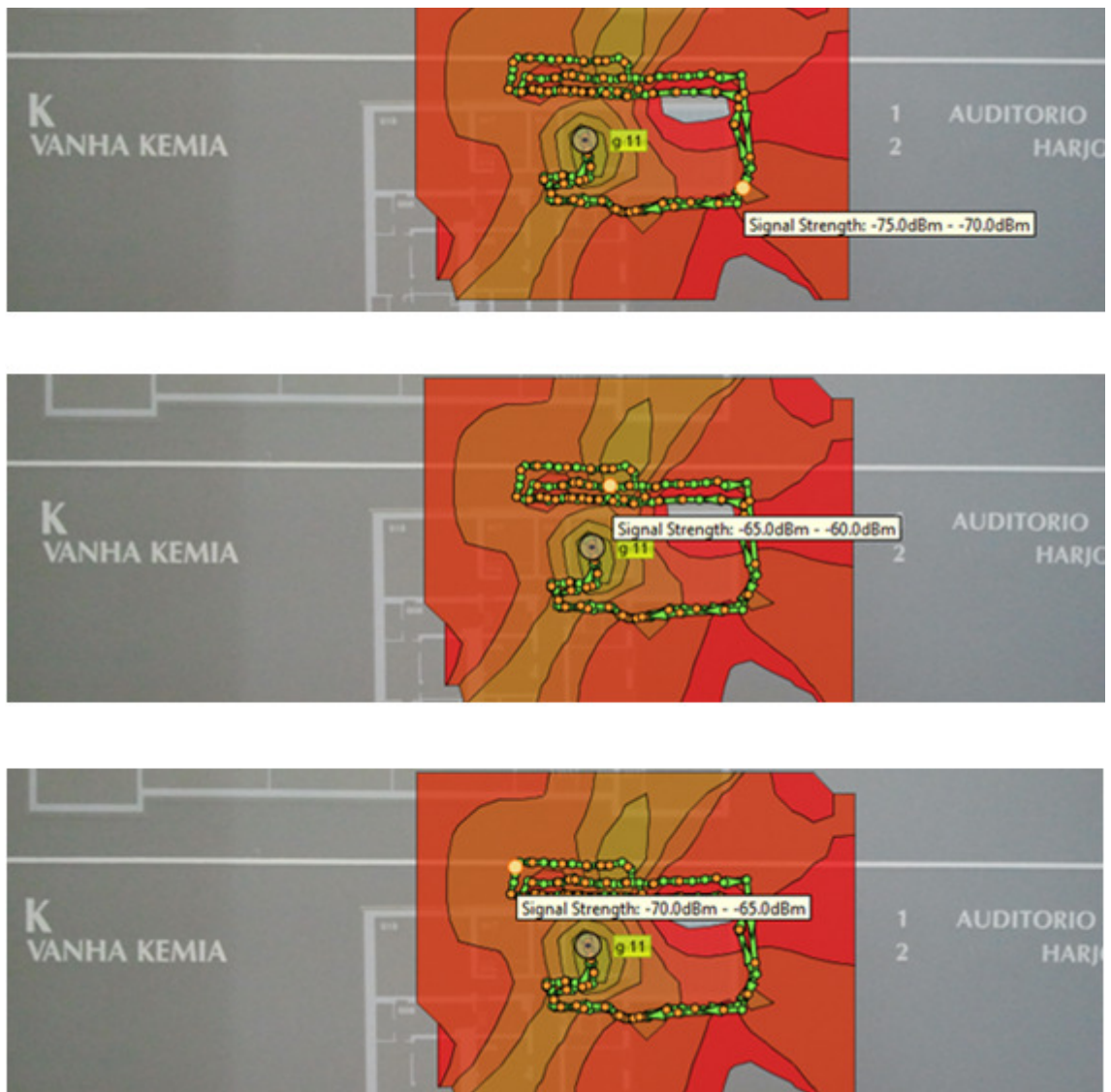


Kuva 23. Mittausalue EMC-huoneen oven ollessa kiinni.

Kun EMC-huoneen ovi oli kiinni, verkkoa ninaim ei löytynyt ollenkaan. Tämä osoittaa, että EMC-huone eristi signaalin niin hyvin, että sitä oli mahdotonta havaita tai mitata Ekahaullla. Oven ollessa kiinni signaali ei häiritse ulkopuolisia verkkoja millään tavalla.

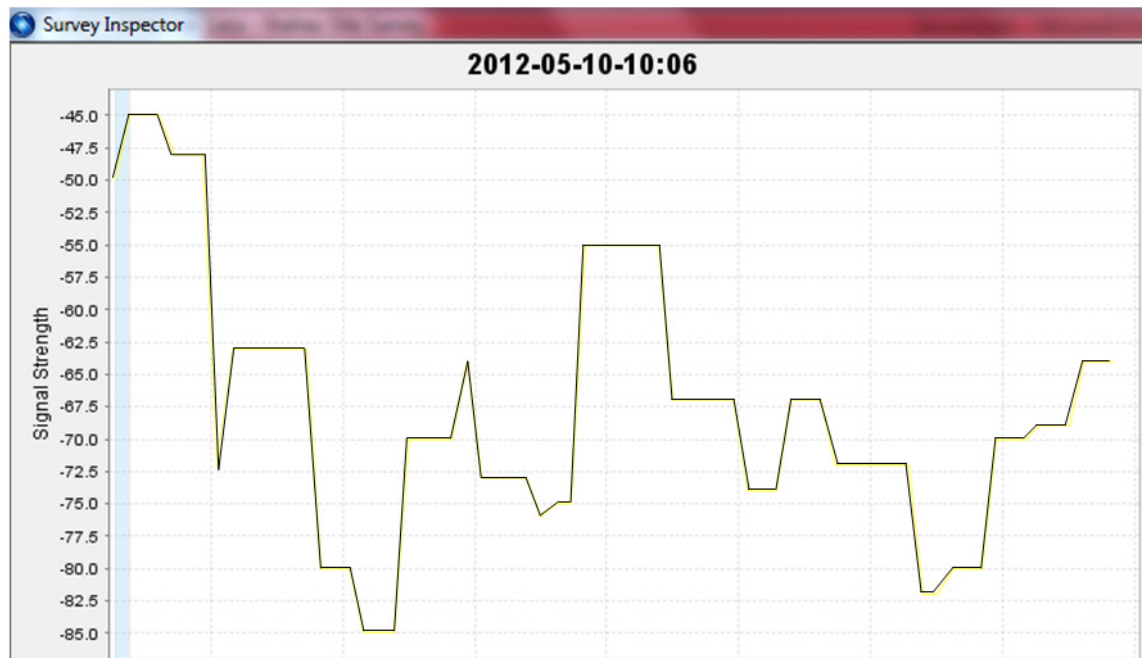
## 5.2 Ovi auki

WLAN-tukiasema oli asetettuna keskelle EMC-huoneen lattiaa ja ovi jätettiin auki. Mittattu alue on sama kuin edellisessä mittauksessa, jossa ovi oli kiinni. Oven ollessa auki verkko nainim kuuluu huoneen ulkopuolella. Kuvasta 24 nähdään, mikä on signaalin voimakkuus eri paikoissa ja mistä mittausreitti on mennyt.



Kuva 24. Mittausreitti ja signaalin voimakkuus eri paikoissa.

Tarkemmat arvot signaalin vahvuudesta nähdään kuvasta 25, jossa näkyy signaalin vahvuus koko mittauksen ajalta.



Kuva 25. Signaalin voimakkuus EMC-huoneen oven ollessa auki.

Kuvasta 25 näkee hyvin, kuinka signaali vaimenee 25,5 dBm (-47 desibelistä -72,5 desibeliin), kun mennään rappuset ylös ja ulos kellarista. Heikoimmillaan signaali on ulkona laboratoriorakennuksen kulmalla (kuva 17), jossa signaalin voimakkuus on -85 dBm. Mittauksen keskivaiheilla oleva huippu johtuu kellarin ikkunoista (kuva 26), jotka signaali läpäisee helpommin kuin betoniseinän. Mittausreitillä oli kaksi ikkunaa, jotka ovat noin kolmen metrin päässä toisistaan. Ensimmäisen ikkunan kohdalla signaali kipuaa -64 dBm lukemiin ja toisen ikkunan kohdalla se vahvistuu vielä 9 desibeliä ollen -55 dBm, joka on paras signaalin vahvuus ulkona. Loppua kohden signaali vaimenee taas ja rakennuksen kulmalla sen vahvuus on -80 dBm.



Kuva 26. Kellarin ikkunat

Signaali on heikoimmillaan juuri siinä suunnassa, jossa Elisan tukiasema sijaitsee. WLAN-signaalin lähetysteho on 100 mW, eli 20 dBm ja ulkona talon kulmalla signaali on -85 dBm. Lähetin on noin 15 metrin päässä talon kulmasta, jolloin signaali on vaimentunut 15 metrin matkalla 105 dBm.

LTE-laboratorio toimii 8 W:n lähetysteholla, joka on 39 dBm. Talon kulmalla 2,6 GHz:n taajuudella ja 39 dBm:n teholla lähetetty signaali vaimenee samalla tavalla WLAN-signaalin kanssa. Signaalin voidaan olettaa vaimenevan 105 dBm, kuten WLAN-signaali, jolloin signaalin vahvuus talon kulmalla on noin -66 dBm. 15 metrin matkalla 2,6 GHz:n signaali vaimenee vapaassa tilassa noin 65 dBm. Loput 40 dBm ovat esteiden kuten betoniseinien aiheuttamaa vaimennusta.

## 6 Johtopäätökset

EMC-huone eristi signaalin niin hyvin, ettei sitä voinut havaita Ekahaulla. Tämä tarkoittaa sitä, että oven ollessa kiinni laboratorion signaali ei aiheuta minkäänlaisia häiriöitä ulkopuolisille verkoille. Oven ollessa kiinni Metropolian LTE-laboratorio ei häiritse Elisan 4G-verkkoa.

Oven ollessa auki tilanne muuttuu. WLAN-signaalin lähetysteho oli 100 mW ja ovi niin auki kuin mahdollista. Edelleen EMC-huone eristi signaalia, mutta osa sen tehosta pääsi ovesta ulos. Kuvasta 25 nähdään, että jo mittauksen alussa oven läheisyydessä tehotaaso on paljon alhaisempi kuin 100 mW. Huoneen edustalla signaalin voimakkuus on -45 dBm eli 0,0316  $\mu$ W. Rakennuksen sisällä huoneesta ulos vuotava signaali ei haittaa, mutta ulkona tilanne on toinen. Metropolia on sopinut Elisan kanssa, että laboratorion signaali ei saa häiritä lähistöllä sijaitsevaa 4G-tukiasemaa.

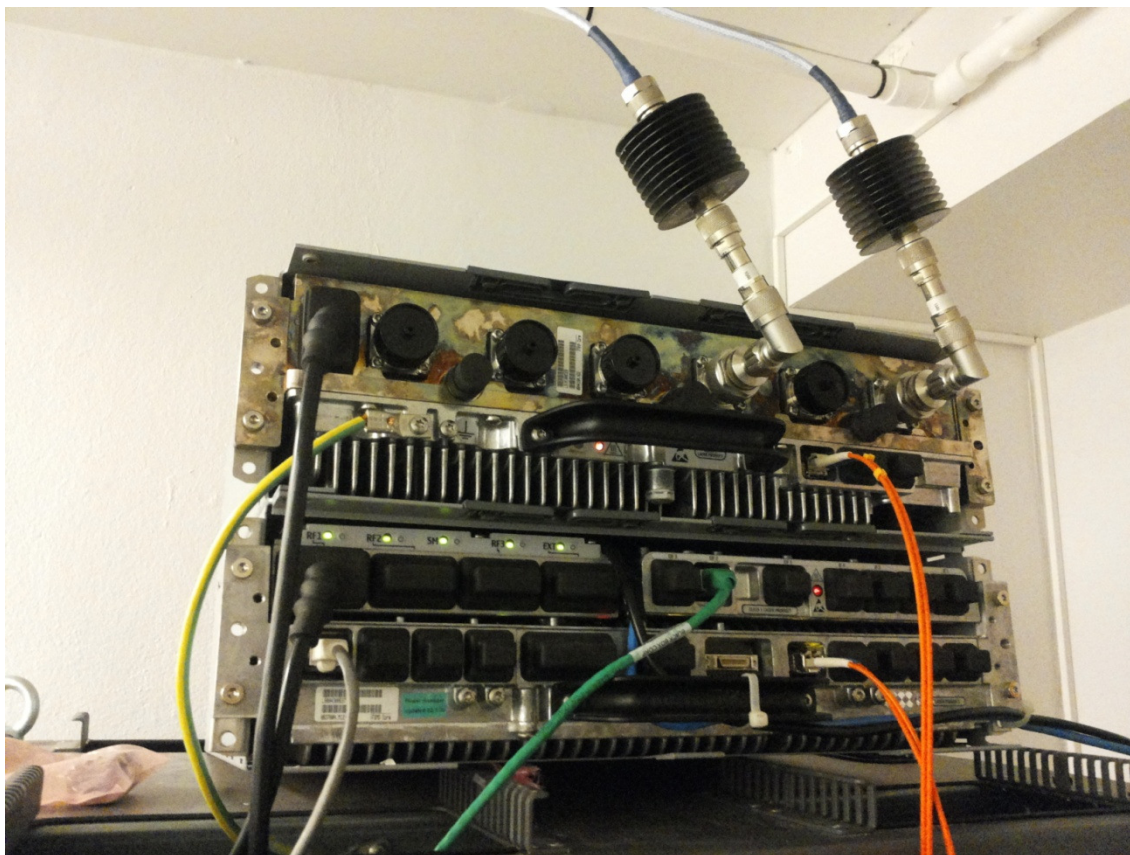
Ulkona signaalin voimakkuus on heikoimmillaan -85 dBm. Signaali oli vaimentunut 15 metrin matkalla 105 dBm. 2,6 GHz:n LTE-signaali, jonka lähetysteho on 39 dBm, vaimenee 15 metrin matkalla suurin piirtein saman verran kuin WLAN-signaali, jolloin LTE-signaalin voimakkuus talon kulmalla on -66 dBm. Yleinen kohinataso 20 MHz:n kaistalla on -101 dBm. Metropolian laboratoriosta kantautuva LTE-signaali on ulkona 15 metrin päässä lähteestä 35 dBm yleisen kohinatason yläpuolella.

Talon kulmalla signaali on liian vahva, ja se voi aiheuttaa häiriöitä Elisan tukiasemalta tulevaan signaaliin. Kohinataso alasuuntaan on -104,5 dBm, jolloin LTE-laboratorion signaali jää 38,5 dBm kohinatason yläpuolelle. Elisan verkossa toimivalla LTE-laitteella voi olla hankaluuksia tulkita signaalia ja siinä olevaa informaatiota. Häiriöt ovat kuitenkin vain hetkellisiä, koska tilanne on huono vain talon kulmalla. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että ohi kävelevällä käyttäjällä on hetken huono signaali, mutta kauempana tilanne palautuu normaaliksi. Metropolian LTE-laboratoriosta kantautuva signaali on talon kulmalla yli kohinatason, mutta tukiaseman suuntaan siitä ei ole haittaa Elisalle.

Metropolia on varmuuden vuoksi vaimentanut signaalia vaimentimilla, jotta signaali ei vuotaisi ulos ollenkaan. Vaimentimien ansiosta LTE-laboratorion signaali ei häiritse Elisan verkon LTE-laitteita edes talon kulmalla. Kuvassa 27 on kaksi vaimenninta, jotka



vaimentavat signaalia yhteensä 60 dBm. Kuvan 28 musta laatikko vaimentaa vielä loputkin, joten signaali ei vuoda ollenkaan ulos.



Kuva 27. Kaksi vaimenninta, jotka vaimentavat signaalia yhteensä 60dBm



Kuva 28. Laatikko, johon jo vaimennetun signaalin viimeiset tehot häviävät.

Tämän työn alkuvaiheessa keväällä 2012 LTE-laboratorion radio-osat oli suunniteltu sijoittaa EMC-huoneeseen, jotta signaali ei vuotaisi ulkopuolelle. Ongelma oli se, että mitä tapahtuu kun huoneen ovi avataan. Vuotaako signaali liian pitkälle ja häiritsee

Elisan verkkoa, vai täytyykö radio-osat sammuttaa oven ollessa auki. Lopulta radio-osia ei sijoitettukaan EMC-huoneeseen, vaan signaali päätettiin vaimentaa vaimentimilla, jotta se ei aiheuttaisi häiriöitä. Tämä työ osoittaa, että jos radio-osat olisivat sijainneet EMC-huoneessa ilman erillisiä vaimentimia, niin signaali olisi häirinnyt Elisan verkon käyttäjiä talon kulmalla EMC-huoneen oven ollessa auki. Mittaustulokset osoittavat, että signaali on ulkona yli kohinatason, mutta vaimentimien ansiosta LTE-laboratorion signaali on vaimennettu niin tehokkaasti, ettei siitä aiheudu ollenkaan häiriöitä Elisan LTE-verkolle.

## Lähteet

- 1 Keywords & Acronyms. Verkkodokumentti. <http://www.3gpp.org/LTE> Luettu 24.5.2012.
- 2 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). Verkkodokumentti. <http://happy.emu.id.au/lab/tut/dttb/dtbtut5b.htm> Luettu 27.5.2012.
- 3 Tiusanen, Johannes. Langattomien laitteiden käyttäminen maatalaolosuhteissa. <http://www.smts.fi/jul2010/esite2010/085.pdf> Luettu 3.6.2012.
- 4 Shawn M. Jackman, Matt Swartz, Marcus Burton, Thomas W. Head. 2011. CWDP Certified Wireless Design Professional Official Study Guide: Exam PW0-250. John Wiley & Sons.
- 5 Soneran 4G. Se aito 4G. Verkkodokumentti. <http://www.sonera.fi/nettiyhteydet/liikkeelle/4g+langaton+laajakaista/> Luettu 14.6.2012.
- 6 Site Survey & Planning. Verkkodokumentti. <http://www.ekahau.com/wifidesign/ekahau-site-survey> Luettu 21.8.2013.
- 7 Karttakuva. Verkkodokumentti. <https://maps.google.fi/maps?hl=fi&tab=ll> Luettu 23.8.2013.
- 8 LTE Link Budget Comparison. Verkkodokumentti. <https://sites.google.com/site/lteencyclopedia/lte-radio-link-budgeting-and-rf-planning/lte-link-budget-comparison> Luettu 26.5.2013.
- 9 Holma Harri ja Toskala Antti 2011. LTE for UMTS: Evolution to LTE-Advanced. John Wiley & Sons, Ltd.
- 10 Lindell Ismo, Radioaaltojen eteneminen, 1994, Otatieto, Espoo.
- 11 Granlund Kaj, Tietoliikenne, 2007, Docendo.
- 12 Symbolin pituus. Verkkodokumentti. <http://www.wolframalpha.com/input/?i=3.84MHz+wavelength> Luettu 13.9.2013.
- 13 SNIR. Verkkodokumentti. <http://en.wikipedia.org/wiki/SINR> Luettu 13.9.2013.
- 14 Liikkuva laajakaista. Verkkodokumentti. <http://www2.dna.fi/liikkuva-laajakaista>. Luettu 14.6.2012.
- 15 Kuuluvuuskartta. Verkkodokumentti. <http://www.elisa.fi/kuuluvuus/> Luettu 14.6.2012.